

氏名	かわぐちとしひろ 川口俊宏
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2447号
学位授与の日付	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	OPTICAL-TO-X-RAY SPECTRAL ENERGY DISTRIBUTION OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI (活動銀河核の可視光-X線スペクトル分布)
論文調査委員	(主査) 教授 嶺重慎 教授 大谷浩 教授 舞原俊憲

### 論文内容の要旨

申請者は、独自のアイデアで現実的なアクリオンディスク・コロナの理論モデルを構築することにより、活動銀河核の可視光～X線に至る幅広い波長域のスペクトルを、世界で初めて同時に再現することに成功した。

活動銀河中心核は、太陽質量の百万倍から十億倍の質量をもつブラックホールへのガス降着により、太陽系サイズの小さな領域から典型的な銀河の百倍ものエネルギーを放射しているとされる天体である。その可視光～X線スペクトルは、可視光から紫外線領域に至るもりあがりや軟X線領域での超過を示し、ガンマ線領域で指数関数的減光を示す。これらの観測を再現する試みは多々なされてきたが、従来のモデルは各周波数帯(可視光～紫外光、軟X線、硬X線)ごとにスペクトルを構築する現象論的なものであり、どのような物理状態により、典型的な観測のスペクトルが統一的に再現できるのかは、必ずしも明らかではなかった。

この問題を解くため申請者は、低温( $\sim 10$ 万度)高密度( $\sim 10^{14}\text{cm}^{-3}$ )の円盤本体と、それを挟む高温( $\sim 10$ 億度)希薄( $\sim 10^{10}\text{cm}^{-3}$ )なコロナ状ガスを組み合わせたモデルを考えて、静水圧平衡と輻射輸送を同時に解き、出てくる放射スペクトルを数値計算した。その結果、活動銀河核の可視光から硬X線にわたる広波長域帯スペクトルを同時に説明することができた。

このモデルは、X線スペクトルの放射機構の理解について、従来のモデル/理解とは著しく異なる特徴をもつ。活動銀河核のX線スペクトルはおおまかに2つのべき型で表され、そのべき指数 $\alpha$ はおおよそ、数十keV以上の硬X線領域で約0.9、軟X線領域でおおよそ1.5である。従来の理解では、軟X線は降着円盤の内縁付近から出された熱的放射の高エネルギーテール、硬X線はその光子がコロナにおいてコンプトン散乱されたものとされてきた。しかし、可視光から軟X線までの放射を一温度の黒体放射で説明できないという問題があった。今回提案されたモデルは、新しく円盤各半径からの放射を丁寧に計算し、可視光は従来通りブラックホール近傍の円盤本体からの熱的放射で説明するが、軟X線はシュバルツシルド半径の10～20倍以内の降着円盤コロナからの逆コンプトン散乱放射で、一方、硬X線ではその成分に加えもっと広がった領域(300倍のシュバルツシルド半径以内)の円盤コロナからの熱制動放射成分により説明する点が新しい。

またパラメータを変えたモデル計算により、中心のブラックホール質量は、コロナ層の温度とスペクトルの傾き等にはほとんど影響を与えないことがわかった。このことは活動銀河核のスペクトルの傾きや硬X線の指数関数的減光が、ブラックホール質量が数桁にわたって変化しても大きくは変わらないという観測事実を説明する。

ところで、ブラックホール近傍からの放射はともかく、大きく広がった領域からの放射は、数日～数十日という比較的短いタイムスケールの変動を生み出すとは考えにくい。そこでこのモデルは、①系が明るくなるとX線スペクトルはソフトになること、②硬X線より軟X線の方が変動の振幅が大きいといた時間変動特性を予言する。これらはまさに観測されている特長と一致するものであった。

## 論文審査の結果の要旨

活動銀河核は、太陽系程度のコンパクトな領域から、如何にして通常銀河全体からの光を上回る莫大なエネルギーを放出できるのかという、天文学の永年の謎を人類につきつけた。現在の定説では、ブラックホールとそこに落ち込むガスがこの謎を解明する鍵ということになるが、直接的証明はない。そこで間接的証明として、落ち込むガスが出す輻射スペクトルを計算し、それが観測と一致するかどうかを調べるという研究が重要となる。ところで降着ガスは、ブラックホールにまっしぐらに落ち込むのではなく、渦を巻いて円盤状に降着する。このときできる天体をアクリーションディスク（降着円盤）とよび、その円盤がどのような輻射特性をするのか、観測をどう説明するのが緊急の研究課題となっているのである。本研究は、その問題に極めてクリアな回答を提供するもので、細かい点のつめや、個々のソースへの応用は未だ残されているものの、画期的な成果と高く評価できる。

具体的には、申請者は低温高密度の円盤本体の上下に高温希薄なコロナをおき、静水圧平衡と輻射輸送を同時に解いて放射スペクトルを計算した。そして、ブラックホール近傍の円盤本体からの輻射で可視光域の黒体輻射的なスペクトルを、その比較的lowエネルギーの光子をコロナ中の高温電子がたたいて軟 X 線領域のべきを、その成分と、広がったコロナ領域から発せられた熱制動輻射の重ね合わせによって硬 X 線領域のべきスペクトルを、という風に観測で知られた三つの成分を同時に説明することに成功した。従来のモデルは、これらのうちのどれか2成分をかりうじて生み出すもので、本研究こそは、活動銀河核のブラックホール降着モデルを裏付ける、まさに、世界的にも誇れる優れた結果といえることができる。

ところで、これだけ幅広い領域からの輻射を考えると、それぞれの領域は違った時間スケールをもつため（ブラックホールに近いほど速く回転し、時間スケールは短くなる）、内側からくる軟 X 線は、大きな半径からくる硬 X 線より、激しく、短い時間スケールで変動することが期待できる。こういった議論から申請者は、光度があがるにつれスペクトルはソフトになることや、硬 X 線に比べ軟 X 線がより激しく変動するといった、観測で知られた特徴をみごとに説明した。依然、ここで提唱されたモデルは定常モデルで、この指摘は計算に基づくものではないが、活動銀河核からの輻射ゆらぎ研究にディスク・コロナ研究の立場から新たな切り口を開いた点は、評価すべきであろう。今後の発展が十分期待できる。

以上、ディスク・コロナ系の素過程の議論をもとに現実的な理論モデルを構築し、かつ観測された広い波長域における放射スペクトルを世界で最初に同時に再現した意義は大きく、当該分野における極めて重要な成果と位置づけられる。よって、本申請論文は、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。なお、本論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。